

YUTRIB'05
9^{ta} JUGOSLIVENSKA KONFERENCIJA O TRIBOLOGIJ
JUN.15-18. 2005
Kragujevac, Srbija i Crna gora

**IZBOR TEHNOLOGIJE REPARATURNOG NAVARIVANJA
RADNIH DELOVA GRADJEVINSKIH MAŠINA IZLOŽENIH
INTENZIVNOM ABRAZIVNOM HABANJU**

M. Jovanović¹, V. Lazić¹, M. Mutavdžić², N. Ratković¹, D. Adamović¹

¹⁾ Mašinski fakultet u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac

²⁾ Preduzeće za puteve Kragujevac, Tanaska Rajića 16, 34000 Kragujevac

Rezime

U ovom radu se najpre razmatraju osnovni vidovi habanja građevinskih mašina izradjeni od čelika i livenog gvoždja, a zatim procenjuje da li se oni moraju zameniti novim ili podvrći reparaturnom navarivanju. U tom cilju posebno je analiziran mehanizam abrazivnog habanja uslovljen tvrdoćom i mikrostrukturom, koje su presudne za otpornost na habanje u laboratorijskim i realnim uslovima. Sve to čini osnovu za izbor najpovoljnijeg postupka i dodatnog materijala za regeneraciju radnih površina.

Eksperimentalni deo rada odnosi se na reparaturu zuba utovarnih kašika utovarivača, rovokopača i bagera, koji rade u uslovima intenzivnog abrazivnog habanja. Odabran je postupak ručnog elektrolučnog navarivanja. Budući da su zubi kašike izradjeni livenjem od uslovno zavarljivog čelika, neophodna je posebna tehnologija navarivanja. Do nje smo došli prethodnim modelskim ispitivanjima, koja obuhvataju probna navarivanja u više slojeva, polaganje medjusloja austenitne elektrode i navarivanje sa predgrevanjem i bez predgrevanja. Na navarenim uzorcima ispitivana je mikrostruktura karakterističnih zona navara, merena mikrotvrdoća tih zona, a na posebno pripremljenim blokovima proveravana otpornost na habanje. Na osnovu toga odabrana je tehnologija reparaturnog navarivanja i zatim ona "preneta" na radne delove zuba kašike utovarivača.

Zubi navareni uzdužno, poprečno i ukršteno, montirani su na kašiku utovarivača, zajedno sa novim i pritom je praćeno njihovo habanje pri radu u istim radnim i vremenskim uslovima. Ustanovljeno je da postojanost zuba navarenih po ovde izabranoj tehnologiji višestruko prevazilazi nenavarene, što se može objasniti većom otpornošću na habanje navarenih slojeva od samog osnovnog materijala radnih delova zuba kašike.

Ključne reči: *reparatura, tehnologija navarivanja, građevinska mehanizacija, zubi kašike utovarivača, tvrdoća, mikrostruktura, dodatni materijal.*

1. Uvod

Pri eksploataciji građevinske mehanizacije za izradu puteva neki njeni delovi dolaze u dodir sa različitim abrazivnim materijalima koji dovode do njihovog habanja. Na oštećenje delova koji su u direktnom kontaktu sa rasutim materijalom

(kamenim agregatom) najveći uticaj imaju procesi abrazivnog habanja. Zbog svoje tvrdoće i oblika zrna, stenski minerali sadržani u kamenu predstavljaju abraziv koji oštećuje radne delove zuba kašike.

U grupu delova koji su izloženi jakom abrazivnom habanju, uz povremene udare srednjeg intenziteta, mogu se razvrstati sledeći delovi građe

vinske mehanizacije: zubi utovarnih kašika utovarivača, rovokopača i bagera, noževi uređaja za sečenje betona i asfalta, noževi buldozera i grejdera, riperi i naglavci buldozera i grejdera, vodeći prstenovi i noževi burgija za bušenje stena, vretena spiralnih transportera građevinskih materijala i dr. Od svih napred nabrojanih delova ovoj vrsti habanja su najviše izloženi zubi utovarnih kašika i riperi. Pored toga, uočeno je da su zubi utovarnih kašika istovremeno izloženi, uslovno rečeno, tzv. otvorenom i zatvorenom modelu abrazivnog habanja. To je bio glavni razlog da se eksperimentalna istraživanja najpre izvedu na zubima kašike utovarivača. Ispitivanjem uzroka oštećenja raznih delova mašina i uređaja ustanovljeno je da u više od 50% slučajeva ona nastaju usled triboloških procesa u manje-više regularnim uslovima eksploatacije [4, 5, 6, 7]. Umesto zamene tih delova novim, u većini slučajeva oni se mogu reparirati, čime se skraćuje vreme zastoja i štedi na skupom novom delu. Stoga je navarivanje ekonomski opravdano kod delova velikih dimenzija i velikog broja istih delova, dok se reparatura unikatnih mašina i uređaja ponekad mora izvesti bez obzira na cenu, odnosno u svim slučajevima kada se novi deo ne može nabaviti [1, 2, 3, 10, 11].

2. Oštećenja nastala usled triboloških uticaja

Uopšteno se habanje smatra posledicom delovanja trenja ili zajedničkog delovanja trenja, termičkih, hemijskih, elektrohemijskih i drugih činilaca na elementima tribo-mehaničkog sistema. Pri razmatranju habanja procenjuju se pre svega oni faktori, koji su u datim radnim uslovima dominantni, kao što su: materijal i osobine radnih površina, kvalitet i osobine kontaktnih površina, osobine medijuma između kontaktnih površina, karakteristike relativnog pomeranja između radnih površina, veličina opterećenja, temperatura, količina i osobine čestica nastalih u toku habanja i dr. [4, 5, 6, 7].

3. Klasifikacija elementarnih mehanizama procesa habanja

Za vreme površinskog kontakta dva tribo-elementa nastaje, u površinskim slojevima, naponsko stanje, odnosno elastične i plastične deformacije, čija veličina zavisi od: intenziteta

opterećenja, uslova trenja, mehaničkih osobina materijala, kao i od mikrogeometrije kontaktnih površina. Kao rezultat interakcije dve hrapave površine može nastupiti trenutni gubitak kontakta usled mikroneravnina, odnosno elastične ili plastične deformacije mikroneravnina. Proces mikrohabanja sastoji se iz više takvih mikrodeformacija i razaranja vrhova neravnina. Na osnovu eksperimentalnih istraživanja [4, 5, 6, 7, 10] došlo se do zaključka da je završni proces habanja u stvari proces zamaranja. Prema raznim autorima postoje i različite podele procesa habanja. No, sve te podele se zasnivaju na načinu ostvarivanja kontakta dva tela te otuda proizilaze: adheziono, abrazivno, eroziono, zamorno, kavitaciono, vibraciono i koroziono habanje. Pošto se u ovom radu ocenjuje dodatni materijal za navarivanje delova izloženih abrazivnom habanju, dalje se razmatra abrazivno habanje sa umerenim do srednjim udarima.

Abrazivno habanje

Prema navodima više autora [4, 5, 6, 7], na abrazivno habanje otpada približno polovina svih vrsta habanja. Najviše su abraziji izloženi delovi građevinske mehanizacije, poljoprivrednih mašina, elementi transportnih uređaja, radni delovi postrojenja u metalurgiji, pojedini delovi alatnih mašina, delovi železničke i tramvajske opreme, radna kola hidrauličnih i gasnih turbina, burgije za bušenje naftnih izvora, delovi opreme za peskarenje itd.

Eksperimentalnim istraživanjima ustanovljene su linearne zavisnosti otpornosti na abrazivno habanje od mehaničkih osobina metala [4, 5, 7]. Stoga se na osnovu nekih mehaničkih osobina, pre svega tvrdoće, može predvideti ponašanje metala prema habanju. Dubina prodiranja stranih čestica obrnuto je srazmerna tvrdoći površinskih slojeva. Međutim, otpornost na habanje legura iste tvrdoće može se razlikovati u zavisnosti od hemijskog sastava i strukture legure. To znači da pored tvrdoće na abrazivno habanje utiče oblik, veličina i raspored strukturnih komponenata. Do sada nema jedinstvenog stava o najpovoljnijem tipu strukture sa gledišta otpornosti na abrazivno habanje. Neki autori smatraju za najpovoljniju austenitno-karbidnu strukturu, drugi martenzitno-karbidnu strukturu [4, 5, 6]. Ove razlike proizilaze iz raznorodnosti abrazivnog habanja i široke skale stvarnih radnih uslova [4].

Svaka strukturna komponenta čelika utiče na nivo otpornosti na habanje srazmerno svojoj

tvrdoci i relativnom udelu u strukturi. Abrazivno habanje uslovljeno je pre svega mogućnošću utiskivanja abraziva u površinske slojeve čelika i zatim čvrstinom veze strukturnih komponenata na granicama metalnih zrna. To znači da će zakaljen čelik biti otporniji nego čelik feritno-perlitne strukture. Eksperimenti su pokazali da je čisto martenzitna struktura i pri manjoj tvrdoci otpornija od martenzitno-karbidne strukture. Štaviše, smanjenje količine martenzita na račun zaostalog austenita u martenzitno-karbidnoj strukturi povećava otpornost na habanje bez obzira na pad tvrdoci. Stoga najveću otpornost na habanje ima austenitno-karbidna struktura, a ne martenzitno-karbidna kako bi se to po mikrotvrdoci očekivalo. Suština



a)



b)

Slika 1: Izgled zuba utovarne kašike

utovarivača: novi delovi (a), oštećeni deo (b)

je u jačoj vezi granica zrna austenit-karbid zbog manje razlike njihovih parametara kristalnih rešetki nego kod kombinacije martenzit-karbid. Drugim rečima, abrazivne čestice lakše čupaju karbid iz martenzitne matrice nego iz austenitne osnove [4, 5].

Promena eksploatacionih uslova dovodi do promene intenziteta i mehanizma abrazivnog habanja. Ovi se uslovi odnose na osobine abraziva, oblik i veličinu čestica, način

povezivanja, specifični pritisak na kontaktnim površinama, relativnu brzinu klizanja, dužinu putanje, vlažnost i hemijsku agresivnost radne sredine, i dr.

Površinsko oštećenje metala (ogrebotine, risovanje) abrazivnim zrnom nastaje ako se zrno abraziva utisne u površinu, i ako se u daljem procesu ne razdvoji. Dubina prodiranja abrazivnog zrna u materijal zavisi ne samo od njegove tvrdoci, već i od geometrijskog oblika zrna. Tako na primer oštre čestice relativno mekšeg abraziva mogu izazvati veća oštećenja nego zaobljene čestice tvrdjeg abraziva. Ispitivanjima [4] se došlo do zaključka da se negativno dejstvo povećava sa porastom dimenzija abrazivnih čestica. Takođe, jedna od najvažnijih karakteristika jeste odnos $k = H/H_a$, gde je H - tvrdoca osnovnog metala, a H_a - tvrdoca abraziva. Otpornost čelika na habanje znatno raste, kad koeficijent k postane veći od 0.5 - 0.6.

Od ostalih eksploatacionih karakteristika treba pomeniti uticaj dužine putanje habanja, specifičnog pritiska, relativne vlažnosti i hemijskih uticaja radne sredine.

4. Namena i uslovi rada zuba utovarnih kašika

Zubi utovarnih kašika (sl. 1a) prvenstveno imaju zadatak da odvoje i usitne odgovarajući materijal, kao i da zaštite kašiku od habanja pri utovaru. Broj i oblik zuba zavisi od namene (kopanje kanala, vađenje šljunka, utovar materijala i dr.) i veličine utovarne kašike, i kreće se od najmanje tri komada (kašike rovokopača) pa do petnaest komada (kašike utovarivača većeg kapaciteta). Za kašiku se montiraju na dva načina: direktnim spajanjem razdvojjom vezom pomoću zavrtnjeva ili zavarivanjem njihovih držača za kašiku, pa pričvršćivanjem zavrtnjevima za držač. Uglavnom se izrađuju od čeličnog liva ili livenog gvožđa, mase 3-15 kg po jednom komadu.

Pri eksploataciji zuba utovarnih kašika uočena su dva problema: kod žilavijih zuba manje tvrdoci, pri radu dolazi do njihove plastične deformacije i intenzivnog habanja, dok kod zuba od krutih materijala velike tvrdoci, dolazi do loma pri slučajnom udarnom opterećenju (sl. 1b). Poseban problem se javlja pri radu građevinskih mašina u kamenolomima ili na površinskim kopovima ruda i uglja, jer odlomljeno metalno parče može dospeti u drobilna postrojenja i izazvati havariju. Pored toga, prelomljeni delovi zuba kašike mogu da dospeju i u postrojenja za

produkciju asfalta i betona i izazovu velike havarije i zastoje u radu.

5. Izbor postupka, dodatnog materijala i tehnologije navarivanja

Analizom hemijskog sastava materijala zuba

razloga smo odlučili da navarivanjem popravimo pohabane zube, umesto do sada uobičajene zamene novim zubima.

Navarivanje je izvodjeno ručnim-elektro-lučnim postupkom, pomoću visokolegirane rutilne elektrode ABRADUR 58 [13-Fiprom

Tablica 1. Hemijski sastav, mehaničke osobine i uporedne oznake ČL3134 [14]

	Hemijski sastav, %					Mehanička svojstva					Veza sa drugim standardima
	C	Si	Mn	P	S	R _m , MPa	R _{eH} , MPa	A ₅ , %	Tvrdoća, HV1	Mikrostruktura	DIN
Propisan	0.45	0.50	1.80	0.040	0.040	780-930	390	7	340-430*	Martenzitno bejnitna i zaostali austenit	GS-36MnS
Analiziran	0.35	0.20	1.65	0.020	0.020	-	-	-	340-420	Martenzitno bejnitna i zaostali austenit	

* Ostvarena tvrdoća i mikrostruktura posle poboljšanja.

Tablica 2. Osobine dodatnog materijala [14]

Oznaka elektrode		Hemijski sastav, %					Vrsta struje	Mehaničke osobine navara	Namena
FIPROM Jesenice	DIN	C	Si	Mn	Cr	Ni			
ABRADUR 58	DIN 8555 E 10-UM-60-GR	3.6	-	-	32	-	~ = (+)	57-62 HRC	Navarivanje alata izloženih intenzivnom abrazivnom habanju sa mineralima u hladnom stanju
INOX B 18/8/6	DIN 8556 E 18 8 6 Mn B 20+	0.12	0.8	7	19	9	= (+)	KV>80 J	Medjuslojna austenitna bazična elektroda

utvrđeno je da je reč o čeličnom livu-ČL3134 (tab. 1). Sečenjem jednog oštećenog zuba pripremili smo odgovarajuće metalografske izbruske za ispitivanje tvrdoće i mikrostrukture osnovnog materijala. Tvrdoća se kretala u granicama od 340-420 HV1, a mikrostruktura je ocenjena kao martenzitna sa izvesnom količinom zaostalog austenita. Ova mikrostruktura nije se pokazala naročito otpornom na abrazivno habanje koje dovodi do relativno

Jesenice], (tab. 2). Navari ove elektrode, kako to deklariše proizvođač, imaju veliku otpornost na intenzivno abrazivno habanje, a podnose i osrednje udare tokom eksploatacije. Zbog velike tvrdoće, navari se mogu mehanički obradivati samo brušenjem. Ova se elektroda posebno preporučuje za navarivanje delova kod kojih su navarene površine izložene trenju sa mineralima. To su noževi na kašikama buldozera, zupci na kašikama bagera, lopatice

Tablica 3. Parametri navarivanja REL postupkom

Oznaka elektrode		Prečnik jezgra, d _e , mm	Struja zavarivanja, I, A	Napon, U, V	Brzina navarivanja, v _z , cm/s	Pogonska energija, q _l , J/cm
FIPROM Jesenice	DIN					
ABRADUR 58	E 10-UM-60-GR	3.25	130	25	0.124	20968
INOX B 18/8/6	E 18 8 6 Mn B 20+	3.25	100	24	0.136	14118

brzog habanja ovih zuba, posebno pri radu u uslovima izrazitog abrazivnog habanja. Iz tog

na bagerima, elementi konvejera izloženi intenzivnom habanju, udarni delovi u

drobilicama različite namene, sečiva noževa, delovi mešalica za procesnu industriju i dr. Pri reparaturama ovih delova, preporučuje se nanošenje medjusloja sa INOX B 18/8/6 [13-Fiprom Jesenice], (tab. 2). Parametri navarivanja odabrani su prema literaturnim preporukama [1, 2, 8], (tab. 3).

6. Eksperimentalna istraživanja na modelima i zubima utovarne kašike

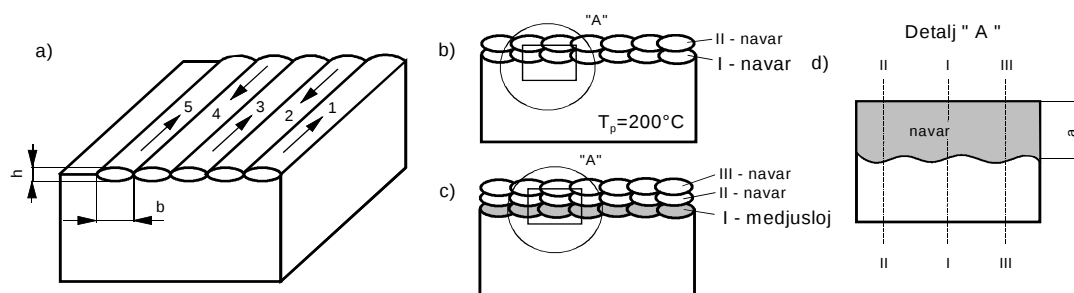
6.1 Modelska ispitivanja

a) Merenje tvrdoće i određivanje mikrostrukture pojedinih zona navara

Svrha modelskih eksperimentalnih ispitivanja bila je određivanje optimalne tehnologije navarivanja. Na modelima su izvedena brojna navarivanja u jednom i više prolaza (slojeva) (sl. 2a,b,c), bez predgrevanja i sa predgrevanjem. Iz tako navarenih modela-uzoraka,

određivanje otpornosti na habanje osnovnih materijala, kao i nanetih prevlaka – navara. Iz navarenih uzoraka (dva iz navara i jedan iz osnovnog materijala) pripremljeni su prizmatični blokovi za tribološka ispitivanja ($6.5 \times 15 \times 10 \text{ mm}$). Pri samom ispitivanju ostvaruje se linijski kontakt "block on disk"; spoljašnje varijable na nizu uzoraka bile su: sila kontakta, brzina klizanja, kao i sredstvo za podmazivanje. Pri ovim ispitivanjima korišćeno je motorno ulje GLX 2 SAE 15-W-40.

Pre ispitivanja merena je topografija površina diska i bloka na kompjuterskom mernom sistemu *Talysurf 6*, zatim je ostvarivan kontakt pri čemu je usvojena normalna sila $F_N = 300 \text{ N}$ i $v_{kl} = 1 \text{ m/s}$ i za vreme kontakta od $\approx 60 \text{ min}$ registrovana promena koeficijenta trenja (sl. 5), a posle prekida kontakta merena topografija površina diska i bloka, odnosno meren pojas pohabanosti bloka (sl. 6). Na ovaj



Slika 2: Redosled polaganja navara: a - 1 sloj, b - 2 sloja, c - 3 sloja, d- metalografski izbrusak (blok)

sečenjem su pripremljeni metalografski izbrusci, odnosno blokovi za tribološka ispitivanja (sl. 2d). Na njima je merena tvrdoća (u tri različita pravca) i ocenjivana mikrostruktura karakterističnih zona navara. Izmerene tvrdoće navara bile su od 551-742 HV1, a mikrostruktura je ocenjena kao martenzitno-ledeburitna sa izlučenim karbidima po granicama zrna i uz neznatno učešće austenita. Struktura ZUT-a bila je otpušteni martenzit sa prelazom u medjufazne strukture, tvrdoće od 380-515 HV1. Mikrostruktura medjusloja odgovara austenitno-karbidnoj, tvrdoće oko 482 HV1. Raspodela tvrdoće i mikrostruktura karakterističnih zona navara, za varijantu troslojnog navarivanja, data je na slici 3.

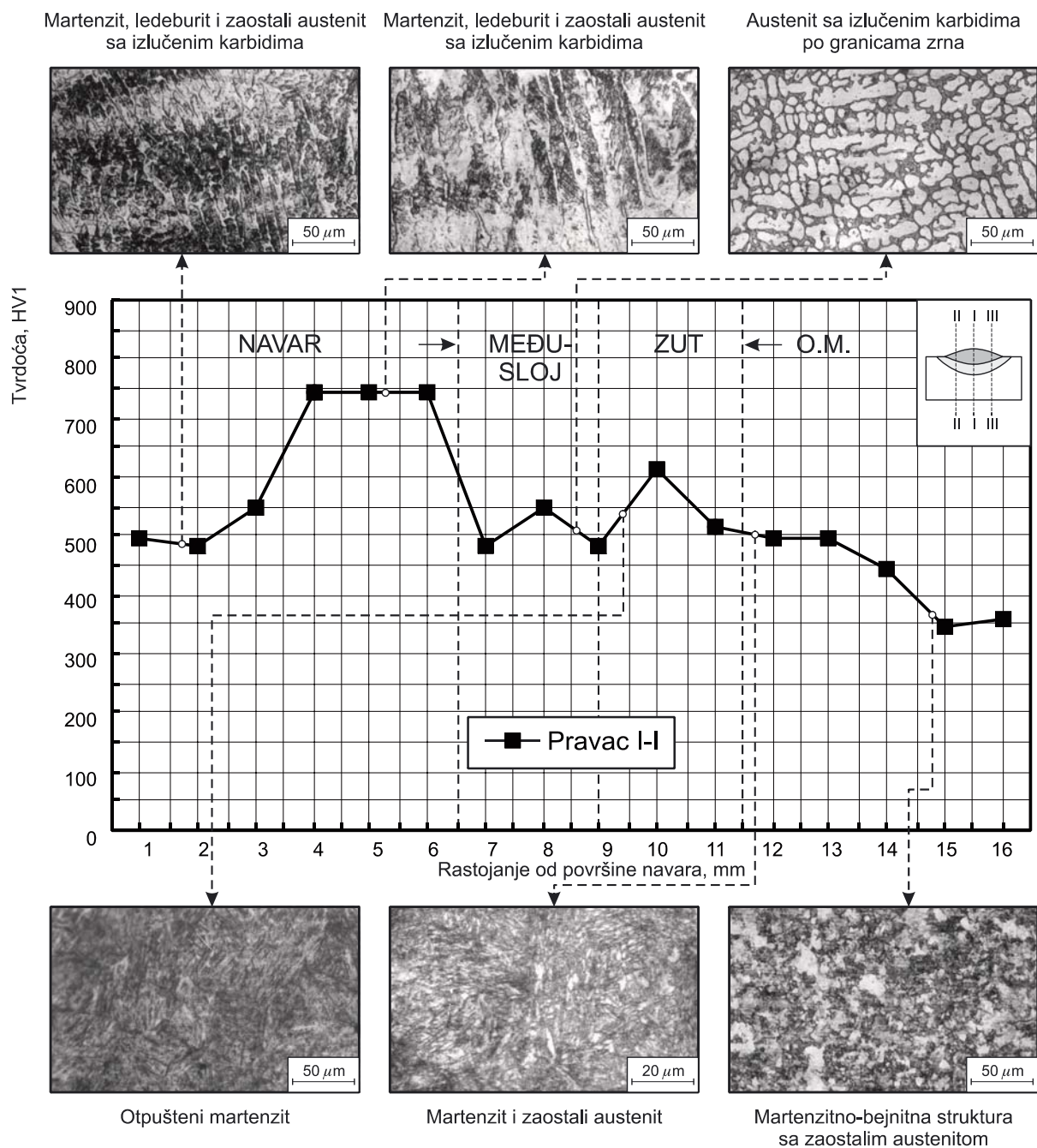
b) Tribološka ispitivanja

Tribološka ispitivanja izvedena su pri kontaktu blok-disk, na tribometru TPD-93 (sl. 4) instaliranom na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu. Cilj ovih ispitivanja je bio

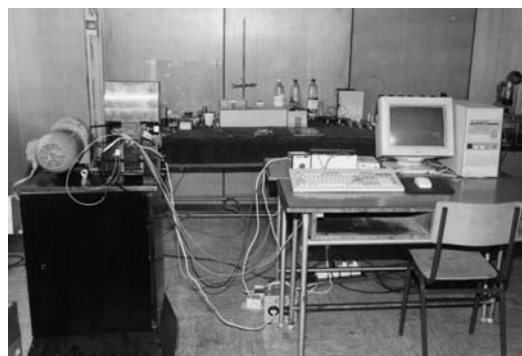
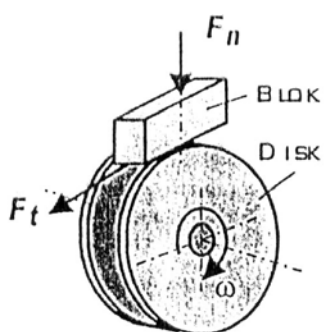
način određivanja su tribološke karakteristike blokova. Širina pojasa habanja merena je na univerzalnom mikroskopu UIM-21, sa uvećanjem od $50 \times$ [1].

Posle izvedenih triboloških ispitivanja izvršena je analiza kako makroskopskih tako i mikroskopskih oštećenja. Na slici 7 prikazana su ta oštećenja na analiziranim blokovima.

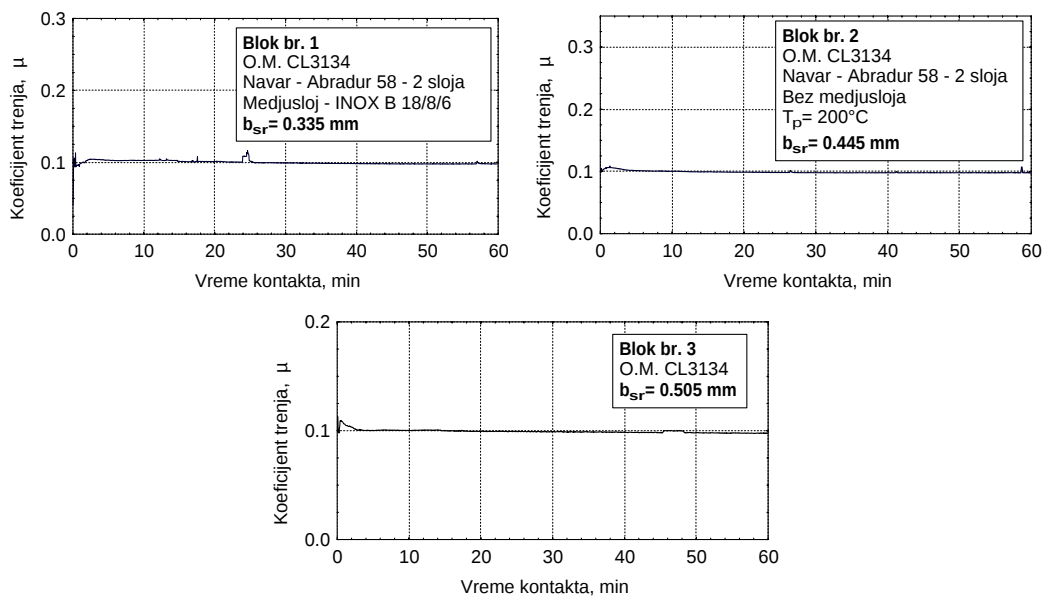
Na osnovu ovih ispitivanja, merenjem širine traga habanja, može se zapaziti da znatno veću otpornost na habanje imaju navareni slojevi (posebno oni ostvareni bez predgrevanja) u odnosu na osnovni materijal, što ukazuje na složen postupak izbora tehnologije navarivanja i dodatnih materijala predviđenih za realne tehnološke uslove rada zuba kašika utovarivača.



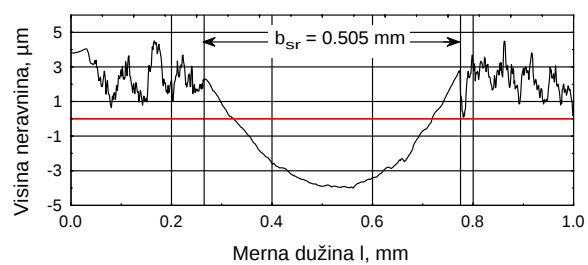
Slika 3: Raspodela tvrdoće i mikrostruktura karakterističnih zona navara (medjusloj + dva sloja, $T_o = 20^\circ\text{C}$)



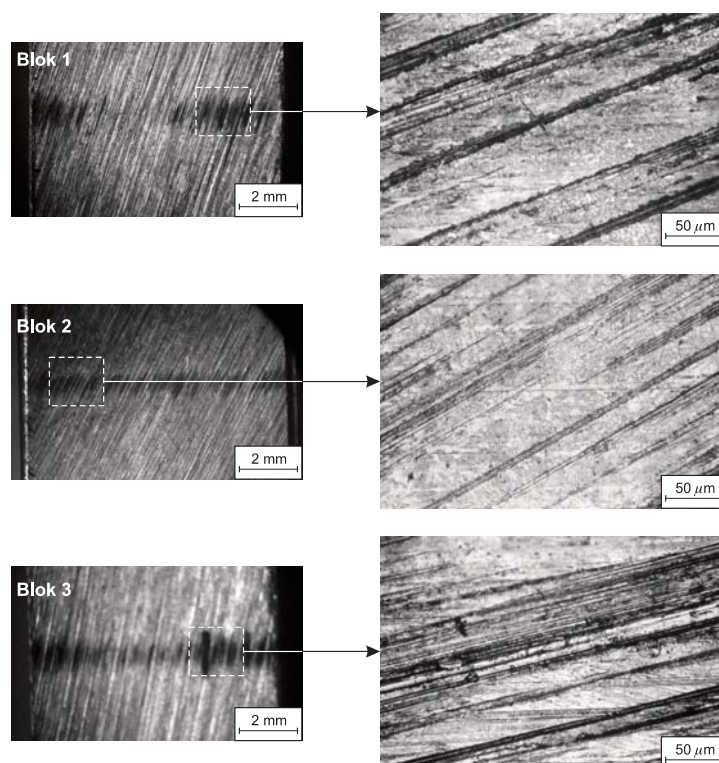
Slika 4: Tribometar TPD – 93 i ostala merna oprema za izvođenje triboloških testova



Slika 5: Promena koeficijenta trenja u toku kontakta od 60 min (blokovi 1, 2 i 3)



Slika 6: Izgled kratera habanja - blok br. 3 (posle kontakta od 60 min)

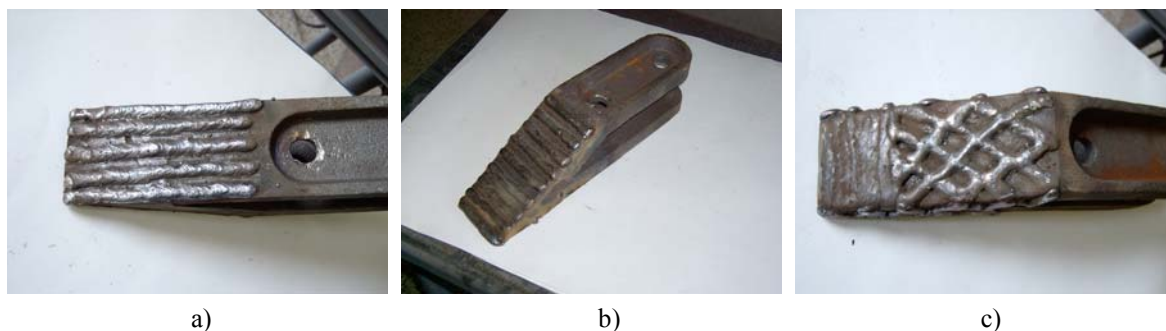


Slika 7: Pohabanost blokova br. 1, 2 i 3 (makro-5 $\times$ i mikro-200 $\times$ izgled)

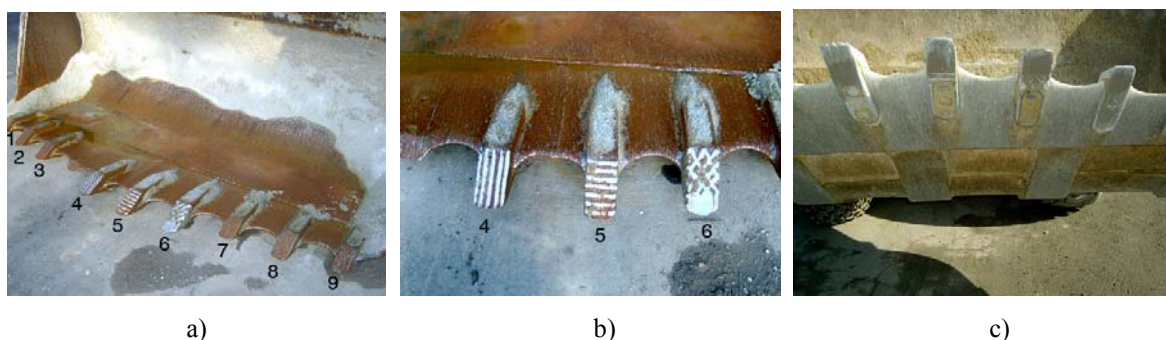
6.2 Navarivanje realnih delova različitim tehnikama nanošenja navara

Posle navarivanja na probnim uzorcima i triboloških ispitivanja, određena je optimalna tehnologija i "preneta" na realne delove. Odlučili smo se za troslojno navarivanje (uz primenu medjusloja), s obzirom na ograničenje u pogledu debljine osnovnog materijala, visine ostvarenog navara i prečnika elektrode.

Navarivane su radne površine zuba sa strane ledjnog i grudnog ugla – uzduž zuba (sl. 8a), poprečno po širini zuba (sl. 8b) i sačasto-kombinovano (sl. 8c). Širina navara iznosila je oko 10-12 mm, a visina oko 4 mm. Ovako navareni zubi montirani su na kašiku u njenom centralnom delu jer je tu najveće dejstvo abrazije (sl. 9a, zubi 4, 5 i 6). Krajnji zubi (1, 2, 3 i 7, 8, 9) ugradjeni su kao novi.



Slika 8: Izgled navarenih zuba: a) uzdužno, b) poprečno i c) sačasto naneti navari



Slika 9: Redosled montiranja zuba na kašiku utovarivača (a), izgled grudne (b) i ledjne (c) površine zuba posle rada od 360 efektivnih sati



a) grudna površina



b) ledjna površina

Slika 10: Izgled navarenih zuba posle 1600 h rada

Povremeno je kontrolisan pojas habanja zuba, najpre posle 1600 efektivnih časova rada (sl. 10a,b) i na završetku građevinske sezone – posle 3200 h rada (sl. 11).

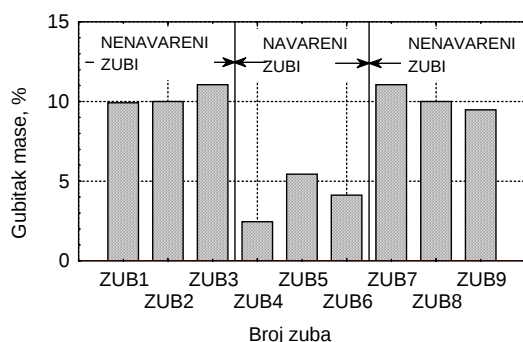
sati rada (dve građevinske sezone) ili gubitak početne mase od 20%. Dobijeni rezultati pokazuju da bi očekivani radni vek navarenih zuba, u zavisnosti od tehnike navarivanja, bio



Slika 11: Izgled navarenih zuba posle 3200 h rada

7. Ocena ekonomske opravdanosti primenjene reparature

Pre montaže izmerena je masa zuba. Posle eksploatacije u realnim uslovima (od 3200 h), zubi kašike su demontirani i ponovo merena njihova masa (tab. 4). Na slici 12 dat je dijagramski prikaz gubitka mase novih-nenavarenih i navarenih zuba.



Slika 12: Dijagramski prikaz gubitka mase nenavarenih i navarenih zuba

veći od nenavarenih zuba 2-4 puta. Što se tiče tehnike navarivanja, najveću otpornost na abrazivno habanje (utovar drobljenog stenskog materijala) pokazuju zubi sa uzdužno nanetim navarima, pa zatim sačasto naneti navari i na kraju poprečno naneti navari. Za druge uslove abrazivnog habanja, mora se posebno istraživati najbolji raspored navara [3].

Upoređivanjem geometrije oštećenih zuba i merenjem debljine materijala na klinastom delu zuba, došlo se do saznanja da je stepen pohabanosti donje (leđne) površine zuba za oko 3 puta veći u odnosu na gornju (grudnu) površinu [3].

Tehno-ekonomska analiza takodje pokazuje isplativost proizvodnog i reparaturnog navarivanja radnih delova građevinskih mašina. Posebno smo detaljno analizirali proizvodno navarivanje novih zuba. Uzimajući u obzir cenu reparature, cenu novog dela i radni vek, došli smo do zaključka da se uštede kreću u granicama od oko 225%, dok pri reparaturnim navarivanjima te uštede dostižu čak 300%.

Tablica 4. Rezultati merenja mase zuba pre i posle eksploatacije od 3200 h

Broj zuba	Novi-nenavareni			Navareni (uzdužno, poprečno i sačasto)			Novi-nenavareni		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Masa zuba pre eksploatacije, kg	8.60	8.58	8.62	9.02	9.05	9.62	8.67	8.60	8.64
Masa zuba posle eksploatacije, kg	7.75	7.72	7.84	8.80	8.65	9.22	7.62	7.74	7.82
Gubitak mase, kg	0.85	0.86	0.78	0.22	0.50	0.40	0.95	0.86	0.82
Procentualni gubitak mase, %	9.88	10.02	11.09	2.44	5.46	4.16	11.08	10.00	9.49

Treba istaći da je iskustveni kriterijum za zamenu pohabanih zuba oko 6400 efektivnih

8. Zaključak

Pravilnim izborom tehnologije reparaturnog navarivanja i izvođenjem samog postupka postižu se brojne prednosti u odnosu na ugradnju novih delova. Tu se pre svega misli na produženje radnog veka navedenih delova (dva do četiri puta), povećanje produktivnosti, skraćivanje vremena zastoja, smanjivanje troškova zaliha i tehno-ekonomsku opravdanost primenjenog postupka.

Iako je svaka regeneracija navarivanjem gotovo unikatni posao, jer traži tehnologiju prilagođenu svakom radnom komadu, ovde smo ustanovili opštu proceduru koja može biti

9. Literatura

- [1] Lazić, V., Jovanović, M., Nedeljković, B., Ratković, N., Adamović, D., Josifović, D.: *Ocena materijala za navarivanje delova izloženih udarnom abrazivnom habanju*, Yutrib '01, Sedma jugoslovenska konferencija o tribologiji, 11-13 Oktobar 2001, Beograd, Jugoslavija, 7.45-7.49.
- [2] Lazić, V., Jovanović, M., Adamović, D., Mutavdžić, M.: *Reparaturno navarivanje alata za obradu zemljišta izloženih abrazivnom habanju*, Zavarivanje 2003., Međunarodna konferencija, Beograd, 2003.
- [3] Mutavdžić, M.: *Reparaturno navarivanje delova mašina i uređaja građevinske mehanizacije*, radna verzija magistarske teze u rukopisu, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2005.
- [4] Blašković, P., Balla, J., Dzimko, M.: *Tribologia*, Vydavatelstvo, ALFA, Bratislava, 1990.
- [5] Ivković, B., Rac, A.: *Tribologija*, Jugoslovensko društvo za tribologiju, Kragujevac, 1995.
- [6] Dzubinski, J., Klimpel, A.: *Napawanie i natryskiwanie cieplne*, Wydawnictwa Naukowe - Techniczne, Warszawa, 1985.
- [7] Gierzyńska, M.: *Tarcie zużycie i smarowanie w obrobce plastycznej metali*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1983.
- [8] Grupa autora: *Poradnik inżyniera-Spawalnictwo II*, WNT, Warszawa, 1983.
- [9] Grupa autora: *Encyklopedia techniki – metalurgia*, Wydawnictwo "Ślask", Kato-wice, 1978.
- [10] Lazić, V.: *Optimizacija procesa navarivanja sa aspekta triboloških karakteristika navara i zaostalih napona*, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, 2001.,

primenjena za grupu sličnih delova (npr. radni delovi građevinske, rudarske i poljoprivredne mehanizacije).

Pokazali smo da je izbor tehnologije navarivanja povezan sa složenom procedurom provere kvaliteta navara, što ukazuje na to da se reparaturni radovi mogu izvoditi samo u specijalizovanim radionicama za regeneraciju, koje raspolažu adekvatnom opremom i odgovarajućim stručnim kadrom. Drugim rečima, uspešnu reparaturu mogu obaviti samo stručne ekipe kojima je održavanje tehničkih sistema profesija, a ne usputno zanimanje.

Kragujevac.

- [11] V., Lazić, M., Jovanović, N., Ratković, D., Adamović, R., Vulović: *Procena otpornosti na habanje navarenih slojeva izvedenih manganskom elektrodom*, Tribologija u industriji, originalni naučni rad, god. XXII, br. 3&4, 2002., str. 10-17.
- [12] Muravljov, M.: *Gradjevinski materijali*, Gradjevinska knjiga, Beograd, 2002.
- [13] Katalozi proizvođača dodatnog materijala: SŽ Fiprom Jesenice-Slovenija, Lincoln electric-USA, Proizvođači motor-nog ulja, ...
- [14] Standardi: JUS, DIN, ...